

**АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТЕЙ КОМПЛЕКСНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ КОНВЕРСИИ
ФОСФОГИПСА
ANALYSIS OF OPPORTUNITIES FOR INTEGRATED TECHNOLOGIES CONVERSION
PHOSPHOGYPSUM**

**Леонид Леонидович Товажнянский, Петр Алексеевич Капустенко, Светлана Ивановна
Бухкало, Ольга Петровна Арсеньева, Александр Юрьевич Перевертайленко,
Leonid Leonidovich Tovazhnyansky, Petr Alekseevich Kapustenko, Svetlana Ivanovna
Buhkhalo, Olga Petrovna Arsenyeva, Aleksandr Yirevich Perevertaylenko**

Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»,
Харьков, Украина
National Technical University «KhPI», Kharkov, Ukraine
(Тел. +380932430788 e-mail: bis.khr@gmail.com)

Аннотация: Рассмотрены основные возможности повышения энергоэффективности процессов конверсии фосфогипса, в виде интеграции отдельных технологических процессов в состав производственного комплекса и выбора эффективного и надежного теплообменного оборудования. Стратегия выбора технологии конверсии фосфогипса должна основываться на требованиях рынка и охраны окружающей среды.

Abstract: The approaches of energy efficiency increasing, total site process integration and correct selection of effective and safe heat exchange equipment for phosphogypsum conversion processes were discussed. The strategy of selection of phosphogypsum conversion technology should be based on market demands.

Ключевые слова: комплексные технологии, теплообменные системы, конверсия фосфогипса, повышения эффективности.

Keywords: complex technology, heat exchange system, conversion of phosphogypsum, efficiency enhancement.

Фосфогипс является многотоннажным и весьма обременительным отходом производства многих отраслей промышленности, например, производства фосфорной кислоты и удобрений. Негативное влияние отвалов фосфогипса на окружающую среду проявляется в загрязнении атмосферного воздуха, подземных и поверхностных вод, почвенно-растительного покрова вредными веществами, просачивающимися даже через экран, а также в результате вымывания их атмосферными осадками и пыления [1, 2]. Возможности повышения энергоэффективности процессов конверсии фосфогипса [2], на наш взгляд, связаны с интеграцией отдельных технологических процессов в состав производственного комплекса с учетом типа энергозатрат и перспектив выбора эффективного и надежного теплообменного оборудования. Стратегия выбора технологии конверсии фосфогипса также должна основываться на требованиях рынка.

По уровню энергозатрат процессы конверсии фосфогипса можно разделить на три основные группы: 1) низкие; 2) с потреблением низкопотенциальных энергоносителей; 3) с по-

треблением высокопотенциальных энергоносителей (топливоеккие). К процессам первой группы относится, прежде всего, применение фосфогипса в сельском хозяйстве. Здесь, в крайнем случае, энергозатраты связаны со снижением уровня радиоактивности фосфогипса или его очисткой. К энергозатратным с потреблением низкопотенциальных энергоносителей относятся, например, процессы производства автоклавных гипсовых вяжущих (α -полугидрат). К энергозатратным с потреблением высокопотенциальных энергоносителей (сжигаемого топлива) относятся процессы производства обжиговых вяжущих (β -полугидрата) и некоторые технологии комплексной переработки фосфогипса: получение цементного клинкера и серной кислоты, сульфата аммония, мела и концентрата редкоземельных элементов, серной кислоты и агломерата для дорожного строительства, серной кислоты и извести, а также другие. Проведенный анализ процессов производства обжиговых вяжущих (Knauf, Rhone-Poulenc, Nissan, CERPHOS и др.) позволяет нам составить обобщенную функциональную схему (рис. 1).

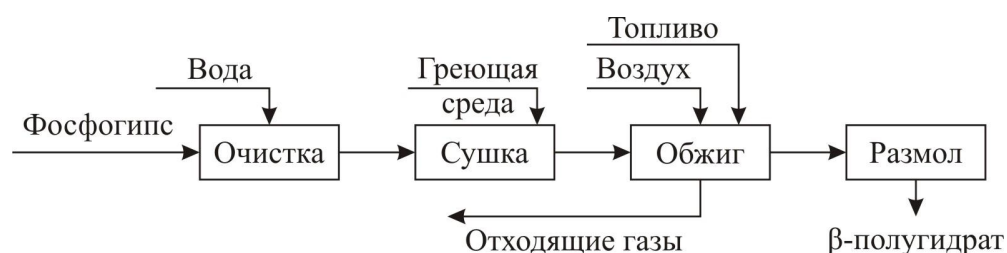


Рис. 1. Функциональная схема обжиговых вяжущих с потреблением высокопотенциальных энергоносителей.

В комплексных технологиях конверсии фосфогипса также имеет место стадия высокотемпературной обработки материалов. Так, в производстве сульфата аммония, строительного мела и концентратов редкоземельных элементов обжигу подвергается карбонат кальция, в результате чего получается окись кальция, принимающая участие в ряде химических реакций.

Например, такие технологии, как совместное получение серной кислоты и строительных материалов (цементного клинкера или агломерата для дорожного строительства) [2] включают в себя процессы термического разложения фосфогипса, проходящие при очень высоких температурах, достигающих 900–1200 °С (рис. 2). Учитывая то, что для производства вяжущих в промышленных масштабах применяется, в основном, (β -полугидрат), можно сказать, что рассмотренные технологии конверсии фосфогипса являются энергозатратными с потреблением высокопотенциальных энергоносителей, то есть требуют сжигания топлива для проведения соответ-

ствующих процессов. В настоящее время именно технологии конверсии фосфогипса, отнесенные к третьей группе по энергозатратности, могут кардинально решить проблему его более или менее полного использования. Однако здесь возникает еще одно существенное препятствие в конверсии фосфогипса – рост цен на энергоносители. Следовательно, технологии конверсии фосфогипса должны быть, прежде всего, энергоэффективными.

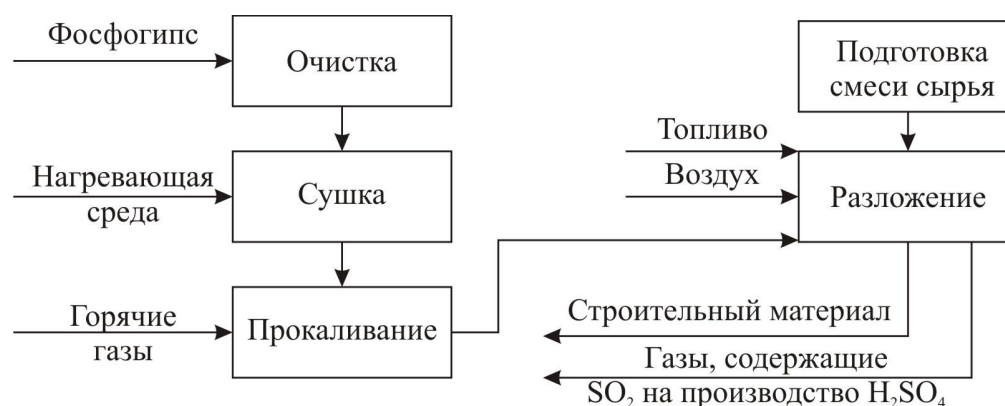


Рис. 2. Функциональная схема конверсии фосфогипса с применением стадии термического разложения.

Концепции повышения энергоэффективности вышеупомянутых технологий, на наш взгляд, могут быть связаны со следующими основными особенностями проведения конверсии.

1. Повышение эффективности процессов самой комплексной технологии.
2. Интеграция отдельных технологических процессов в производственный комплекс, желательно, безотходный [3–6].
3. Организация правильного выбора эффективного и надежного теплообменного оборудования с учетом особенностей конкретного процесса.

Примером реализации первой концепции может служить процесс получения серной кислоты и цементного клинкера, разработанный компаниями Lurgi G.m.b.H и Babcock-BSH (Германия). Для разложения фосфогипса был предложен реактор с циркулирующим кипящим слоем, температура циркулирующего кипящего слоя составляла 950–1100 °С. Отходящими горячими газами реактора осуществлялся не прямой нагрев сырьевой смеси в противоточной вращающейся печи до 450 °С. Отходящие газы из печи с температурой 200–250 °С использовались как греющая среда в сушилке сырьевой смеси. Такая каскадная противоточная схема рекуперации отходящих горячих газов из реактора разложения позволила снизить расход тепла на 30 % по сравнению с процессами разложения фосфогипса, которые применялись в промышленности в

конце 60-х – начале 70-х годов прошлого столетия. Подобная схема рекуперации тепла может быть применена и в производстве обжиговых вяжущих (β -полугидрата), где тепло отходящих газов может быть использовано для подогрева воздуха, поступающего на стадию обжига.

Интеграция технологической системы конверсии фосфогипса в состав производственного комплекса фосфорсодержащих удобрений предполагает функционирование этой системы вместе с другими химико-технологическими системами производственного комплекса. Эффективно использовать энергетические ресурсы в таких комплексах позволяют специальные методы интеграции тепловых процессов. Если количество энергии, выработанной технологической системой превосходит потребности самой системы, то энергия может быть экспортирована в другую систему и, наоборот, если имеется потребность, она может быть импортирована из другой системы комплекса. Примером реализации подобной концепции может служить технология производства из фосфогипса серной кислоты и агломерата, который может быть использован в дорожном строительстве. Технология разработана Флоридским институтом исследования фосфатов компанией Davy McKee Ltd. (США). В этой технологии тепло отходящих газов предусмотрено использовать для получения пара и электроэнергии, излишки которых можно экспортировать за пределы производства. Тепло отходящих газов может быть также использовано на подогрев воды для теплоснабжения помещений производственного комплекса и/или прилегающих к комплексу жилых районов. Последовательности чередующихся нагревов и охлаждений на всех этапах производства, от первичной переработки сырья до получения конечного продукта, требует широкого использования теплообменников и интеграции потоков. В этой связи выбор эффективного теплообменного оборудования для нагрева, охлаждения и рекуперации имеет первостепенное значение для экономичной работы всего производства в целом.

Комплексная переработка фосфогипса с извлечением редкоземельных элементов (РЗЭ) является перспективной и выгодной по следующим причинам: извлечение РЗЭ из отвалов фосфогипса является, прежде всего, переработкой техногенных образований; существует устойчивая тенденция увеличения спроса и стоимости РЗЭ; комплексные методы переработки фосфогипса позволяют кроме концентратов РЗЭ получать другие продукты для различных отраслей народного хозяйства. Суммируя проведенные разными авторами исследования, можно констатировать, что существует возможность создание высокотехнологичного экологически чистого производства по переработке отвалов фосфогипса с целью извлечения редкоземельных элементов и получения чистого гипса в пределах интеграция отдельных технологических процессов в производственный комплекс [7]. Можно констатировать, что в ближайшей перспективе по рыночным и экономическим причинам основным способом хранения останется временное складирование

фосфогипса в инженерно-технических сооружениях, выполненных в соответствии с действующими требованиями. В связи с этим необходимо дальнейшее развитие методов и материальной базы гидромеханического мониторинга состояния инженерно-технических объектов складирования фосфогипса, а также систематизация, обобщение и анализ данных обследования действующих объектов. Таким образом, из представленных материалов можно сделать следующие выводы: реализация энергосберегающих мероприятий конверсии фосфогипса в сочетании с тепловой интеграцией технологических систем производственных комплексов фосфорсодержащих удобрений позволяют превратить фосфогипс из обременительного отхода производства в продукцию или, по крайней мере, сырьё для производства продукции; стратегия выбора технологии конверсии фосфогипса должна основываться на требованиях рынка, как, например, с учетом спроса на РЗЭ; следует отметить, что при определении экономической эффективности и рентабельности таких производственных комплексов капитальные вложения и эксплуатационные расходы следует рассчитывать для единого производства фосфорной кислоты и удобрений на ее основе, фосфогипса и продуктов его переработки, а также ряда других выбранных продуктов.

Список литературы

1. Гумницький Я., Малик Ю., Мальований М. Хемічне перероблення фосфогіпсу для охорони довкілля від шкідливого антропогенного забруднення // Пр. Наук. наук т-ва ім. Шевченка. – Л., 2001. – Т. 7: Екол. зб.: Екол. проблеми природокористув. та біорозмаїття Львівщини. – С.131–134.
2. Товажнянский Л.Л., Мешалкин В.П., Капустенко П.А., Бухкало С.И., Арсеньева О.П., Перевертайленко А.Ю. Энергоэффективность комплексных технологий конверсии фосфогипса // Теоретические основы химической технологии, М.: 2013, т. 47, № 3, с. 279–285.
3. Production of phosphoric Acid. Booklet 4 of 8. General Product Information on Phosphoric Acid. European Fertilizers Manufacturers Association, 1997. 20 pp.
4. Kuehle K.H., Knoesel K.R. // Condensed Papers of the Second Intern. Symp. on Phosphogypsum. Miami. 10–12 December 1986. P. 133–140.
5. Knoesel K.R., Lutz R. // Seminar on Phosphogypsum Utilization. Istanbul, Turkey. 1987. 28 p.
6. Akhmetov A.S., Yarosh E.B. Technical and economical characteristics of phosphogypsum conversion to sulfuric acid and plasters. Technology of Fertilizers, Leningrad, 1992, p.10–13.
7. Товажнянский Л.Л., Капустенко П.А., Бухкало С.И., Перевертайленко А.Ю., Арсеньева О.П. Эффективные компоненты теплообменных систем для процессов конверсии техногенных отходов // Вісник НТУ «ХПІ». – Харків: НТУ «ХПІ», 2011. Вип. 21. – С. 3–12.